

به نام خدا

مهبانگ

برگرفته از:

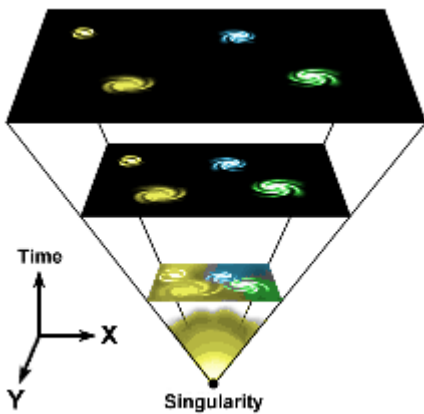
http://en.wikipedia.org/wiki/Big_Bang

برگرداننده:

مهدی عباسیان

دانشجوی کارشناسی فیزیک

www.Khorshidvash.com



در کیهان شناسی فیزیکی، نظریه ی "مهبانگ" (Big Bang) به پدیدار شدن جهان (گیتی) از حالتی بسیار داغ و چگال در ۱۳.۷ میلیارد سال پیش اشاره دارد. نظریه ی مهبانگ نتیجه ی قانون هابل درباره ی سرعت کهکشان های دور دست هنگامی که با اصل انتظام گیتی کنار هم قرار می گیرند است.

مشاهده های اختر شناسی نشان می دهد که جهان ما از یک وضعیت نخستین آغاز به انبساط نموده که در این وضعیت نخستین همه ی ماده و انرژی جهان در چگالی و دمای بسیار زیادی بوده است.

به طور کلی فیزیکدانان چیزی درباره ی آن چه پیش از مهبانگ رخ داده است نمی دانند هر چند که نسبت عمومی گونه ای از انحصار گرانشی را پیش بینی می کند. یک پی آمد منطقی "مهبانگ" آن است که شرایط جهان کنونی متفاوت از گذشته و آینده ی آن باشد. با این مدل، George Gamow در سال ۱۹۴۸ میلادی توانست دست کم از نظر کیفی وجود ریز موج های زمینه ی کیهانی را پیشگویی کند. ریز موج های زمینه ی کیهانی (CMB) در دهه ی ۱۹۶۰ کشف شد و نظریه ی مهبانگ را نسبت به رقیب اصلی آن که نظریه ی "حالت پایا" است اعتبار بیشتری بخشید.

روند تاریخی نظریه ی "مهبانگ"

به طور مشاهداتی، تعیین شده بود که بیشتر سحابی های مارپیچی در حال دور شدن از زمین بودند ولی کسانی که مشاهده ها را انجام می دادند از مفاهیم انتظام گیتی آگاهی نداشتند و نیز این که سحابی های فرض شده در حقیقت کهکشان هایی بیرون از راه شیری خودمان هستند.

در سال ۱۹۲۷ میلادی، کشیک کاتولیک بلژیکی George Lemaître به طور مستقل معادله های Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker را از معادله های نسیت Albert Einstein استنتاج کرد و بر پایه ی دور شدن سحابی های مارپیچی پیشنهاد کرد که جهان با انفجار یک ذره (اتم) نخستین که بعد ها "مهبانگ" نامیده شد آغاز شده است.

در سال ۱۹۲۹ ادوین هابل پایه های مشاهداتی را برای نظریه ی لِمایتره بنا نهاد. او کشف کرد که کهکشان ها در هر سو نسبت به زمین با سرعت هایی که متناسب با فاصله یشان از زمین است در حال دور شدن هستند که امروزه این واقعیت مشهور به قانون هابل است. هنگامی که اصل انتظام گیتی از دیدگاه فاصله های بسیار بزرگ بررسی شود هیچ سو یا مکان ترجیحی یا مقدم برای گیتی ندارد. قانون هابل پیشنهاد کرد که جهان بر خلاف سناریوی جهان ایستا و بی کرانی که انیشتین بنا نهاد در حال انبساط و بزرگ شدن است.

این نظر اجازه ی مطرح شدن دو امکان متضاد را داد. یکی نظریه ی "مهبانگ" لِمایتره بود که توسط George Gamow پشتیبانی شد و گسترش یافت. امکان دیگر مدل "حالت پایا" ی Fred Hoyle بود. در این مدل به طور کلی جهان همان است که در هر نقطه از زمان بوده است. گفتنی است که این هویل بود که نام نظریه ی لِمایتره را به استناد ارجاع کنایه وار "این نظریه ی مهبانگ" در هنگام پخش خبر در ۲۸ مارس ۱۹۴۹ توسط برنامه ی BBC Third Programme پرآوازه کرد. هویل این اصطلاح کنایی را دوباره در برنامه های پخش خبر در اوایل سال ۱۹۵۰ میلادی به عنوان بخشی از پنج سخنرانی پیاپی که "The Nature of Things" نام داشتند تکرار کرد. نوشتار هر سخنرانی یک هفته پس از پخش خبر در The Listener چاپ می شد و این نخستین باری بود که اصطلاح "مهبانگ" در یک رسانه ی نوشتاری ظاهر شد.

تا چندین سال، پشتیبانی از هر یک از این دو نظریه به گونه ای برابر تقسیم شده بود. پس از آن مدارک مشاهداتی آغاز به پشتیبانی از نظریه ی "جهان ایجاد شده از وضعیت چگال و گرم" (= مهبانگ) کردند. پس از کشف تابش ریز موج های زمینه ی کیهانی در سال ۱۹۶۵ میلادی به این نظریه به عنوان بهترین نظریه ی اصل و سیر تکامل کیهان نگریده شد.

پیشرفت های بزرگ در کیهان شناسی مهبانگ در سال های پایانی دهه ی ۱۹۹۰ و سال های آغازین سده ی بیست و یکم به عنوان پی آمدی از پیشرفت های عمده در فن آوری تلسکوپی و افزایش داده های دریافتی از ماهواره های بسیار زیاد مانند COBE، تلسکوپ فضایی هابل و WMAP ایجاد شد. چنین داده هایی به کیهان شناسان اجازه داد تا بسیاری از مشخصه های مهبانگ را در سطح بالاتری از دقت محاسبه کنند، همچنین آنان را در کشف غیرمنتظره ای که "انبساط شتاب دار کیهان" بود یاری نمود.

سرگذشت کلی کیهان

بر پایه ی اندازه گیری انبساط جهان با به کار گیری ابرنواختر های گونه ی I، اندازه گیری توده های ریز موج های زمینه ی کیهانی و اندازه گیری چگونگی ارتباط میان کهکشان ها، عمر جهان 13.7 ± 0.2 میلیارد سال برآورد شده است. همخوانی این سه اندازه گیری مستقل دلیل قوی مطرح شده برای مدل Λ CDM (لاندا سی دی ام) است که جزئیات درونمایه ی طبیعت کیهان را توضیح می دهد.

جهان آغازین پر بود از چگالی انرژی بسیار زیاد و باور نکردنی و نیز فشار و دمای بسیار بالا و پیوسته که همسانگرد و یکجور بود. این گوی بسیار داغ، منبسط و سرد شد و به سوی گذارهای فاز پیش رفت که شبیه به میعان گاز و یا یخ بستن آب هنگام سرد شدن بود ولی مرتبط با ذرات بنیادین.

کمابیش 10^{-35} ثانیه پس از آغاز، یک گذار فاز موجب شد که جهان رشدی بالا را در طی دوره ای با نام "تورم کیهانی" تجربه کند. پس از آن که تورم از ادامه باز ایستاد، اجزای ماده ی سازنده ی جهان به شکل یک پلاسمای quark-gluon (همچنین شامل همه ی ذرات دیگر) بود و ذرات سازنده به طور نسبی حرکت می کردند.

هنگامی که جهان رشد تا این اندازه را ادامه داد دما افت کرد. در یک دمای معین، به وسیله ی یک گذار تا کنون ناشناخته با نام *baryogenesis*، کوارک ها و گلوآن ها ترکیب شدند و تبدیل به ذرات سنگین (باریون هایی) مانند پروتون ها و نوترون ها، به گونه ای که بی تقارنی میان ماده و پادماده را در پی داشت، شدند. باز هم در دماهای پایین تر گذارهای فاز، بی تقارنی بیشتری را در پی داشتند و قانون های فیزیکی و ذرات بنیادین را به شکل کنونی آن ها در آوردند. پس از آن برخی از پروتون ها و نوترون ها ترکیب شدند تا دوتریوم ها و هلیوم نوکلئ های این جهان را در فرآیندی که *Big Bang nucleosynthesis* نامیده می شود ایجاد کنند. هنگامی که جهان سرد شد، رفته رفته ماده از حرکت نسبی باز ایستاد و چگالی انرژی جرم سکون آن از حالت پرتویی تبدیل به چیرگی گرانشی شد. پس از حدود ۳۰۰.۰۰۰ سال، الکترون ها و پروتون ها در اتم ها (اغلب هیدروژن) ترکیب شدند؛ از این رو پرتو (تابش) از ماده جدا شد و بی هیچ ممانعتی در فضا به راهش ادامه داد. این پرتوی باستانی همان "ریز موج زمینه ی کیهانی" است.

در زمان های بعد ناحیه های چگال تر، ماده های نزدیک را به شیوه ی گرانشی جذب کردند و بدین گونه حتی چگال تر شدند و ابرهای گازی، کهکشان ها و ساختار های دیده شدنی جهان امروزی شکل گرفتند. جزئیات این فرآیند به مقدار و گونه ی ماده ی جهان وابسته است. سه گونه ی ممکن با نام های "ماده ی تاریک سرد"، "ماده ی تاریک داغ" و "ماده ی باریونی" شناخته شده هستند. بهترین اندازه گیری های انجام شده (توسط WMAP) نشان می دهد که شکل غالب ماده در جهان "ماده ی تاریک سرد" است. دو گونه ی دیگر کم تر از ۲۰٪ از ماده ی جهان را تشکیل می دهند.

به نظر می رسد که جهان امروز به تسلط یک شکل رازآلود از انرژی با نام "انرژی تاریک" درآمده است. کمابیش ۷۰٪ از انرژی جهان امروزی از این گونه ی انرژی است. این بخش از ساختمان جهان با ویژگی های آشکار شده ی انبساط جهان شناسایی شده است. انرژی تاریک در این ساده ترین ساختارش، جایگاه یک عبارت ثابت کیهان شناختی را در معادله های میدان نسبیت عمومی انیشتین برای خود می گیرد. گفتنی است نسبت اجزای سازنده ی آن ناشناخته است و در حالت کلی تر جزئیات معادله ی حالت و ارتباط آن با مدل استاندارد فیزیک ذرات، هم از نظر تئوری و هم مشاهداتی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

همه ی این مشاهده ها در مدل Λ CDM گنجانده شده اند که یک مدل ریاضی از مهبانگ با شش مشخصه است. رازها هنگامی بسته تر به نظر می آیند که به آغاز نزدیک می شویم، یعنی زمانی که انرژی های ذره از آن چه امروزه با آزمایش به دست می آید بسیار بیشتر بوده است. هم اکنون هیچ مدل فیزیکی قابل توجهی برای 10^{-33} ثانیه ی آغازین جهان یعنی پیش از گذار فاز که توسط نظریه ی "وحدت کامل" (*grade unification*) ایجاب شد نداریم. برای حل این مشکل به یک نظریه ی گرانش کوانتومی نیاز است. فهم این دوره از تاریخ جهان یکی از بزرگ ترین مساله های حل نشده ی فیزیک است.

به نام خدا

مهبانگ (بخش دوم)

در شماره ی پیشین به بررسی روند تاریخی نظریه ی مهبانگ و سرگذشت کلی کیهان از دید این نظریه پرداختیم. در این شماره به گونه ای گسترده تر به این معتبرترین نظریه ی چگونگی آفرینش می پردازیم.

زیربناهای نظری

موقعیتی که امروزه نظریه ی مهبانگ در آن جای دارد حاکی از وابستگی آن به سه فرض زیر است:

۱. جهان شمولی قانون های فیزیکی
۲. اصل انتظام گیتی
۳. اصل کوپرنیک

هنگامی که فرض نخست گسترش یافت این نظرها به آسانی به عنوان بدیهیات گرفته شدند ولی امروزه تلاش هایی برای آزمایش هر یک از آن ها انجام می شود. آزمون های جهان شمولی قانون های فیزیکی بیشترین انحراف ممکن ثابت ساختار ظریف را در هنگامه ی 10^{-5} جهان تعیین کردند. همسانگردی جهان که اصل انتظام گیتی را تعریف می کند به سطحی از 10^{-5} آزموده شده است و جهانی که همگن بودن آن در بزرگ ترین مقیاس در سطح ۱۰٪ اندازه گیری شده است. تلاش هایی برای آزمون قانون کوپرنیک با مشاهده ی برهم کنش گروه های کهکشانی و خوشه ها با ریز موج های زمینه ی کیهانی (CMB) به واسطه ی اثر Sunyaev-Zel'dovich تا دقت ۱٪ انجام می شود.

نظریه ی مهبانگ از اصل موضوع Weyl برای به طور بی ابهام اندازه گرفتن زمان در هر نقطه ای با عنوان "زمان از هنگام مبدا تاریخ پلانک" استفاده می کند. اندازه گیری ها در این سامانه به دستگاه مختصات درخوری که به اصطلاح فاصله های comoving نامیده می شوند و به زمان های درخوری که در آیه ی گسترش جهان را حذف می کنند و پارامتری شده با مقیاس گذاری انتظام گیتی با توجه به اندازه گیری های فضا زمان هستند تکیه دارند. فاصله های comoving و زمان های درخور به گونه ای تعریف شده اند که اشیای در حال جنبش با جریان انتظام گیتی همواره با همان فاصله ی comoving برقرار هستند و افق ذره یا محدودیت مشاهداتی جهان محلی با زمان درخور تنظیم می شود.

تا زمانی که بتوان جهان را با چنان دستگاه های مختصاتی توضیح داد، مهبانگ یک انفجار ماده به سوی بیرون برای پر کردن یک جهان نخواهد بود؛ بلکه انبساط خودش فضا زمان است. این انبساط است که موجب می شود

فاصله ی میان هر دو نقطه ی ثابت در جهان ما افزایش یابد. شی هایی که مقید به هم هستند (برای نمونه با نیروی گرانشی) با انبساط فضا زمان گسترش نمی یابند زیرا قانون های فیزیکی که آن ها را کنترل می کنند یکنواخت و مستقل از انبساط متری فرض شده اند. افزون بر این، انبساط جهان با ابزارهای سنجش محدود امروزی چنان کوچک و ناچیز است که استقلال قانون های فیزیکی در انبساط جهان را نمی توان با روش های کنونی سنجید.

گواه مشاهداتی

در کل گفته می شود که نظریه ی مهبانگ کیهان شناسی را سه ستون مشاهداتی استوار ساخته اند:

۱. Hubble-type expansion که دامنه ی مشاهده ی آن گرایش به سرخ کهکشان هاست؛

۲. اندازه گیری های موشکافانه ی ریز موج زمینه ی کیهانی

۳. فراوانی عنصرهای سبک

افزون بر این ها، نقش همبستگی ساختار کیهان مشاهده شده در مقیاس بزرگ با نظریه ی مهبانگ استاندارد به

خوبی هماهنگ است.

قانون انبساط هابل

مشاهده ی کهکشان ها و اختروش ها (کوازارها) ی دور نشان می دهد که این اشیا گرایش به سرخ دارند یعنی نور گسیل شده از آن ها به طول موج های بلندتر منتقل شده است. این موضوع با گرفتن طیف بسامد آن اشیا و سنجش آن ها با الگوی طیف سنجی خط های گسیلی یا خط های طیف جذبی مطابق با اتم های عنصرهای شیمیایی که با آن نور اثر متقابل دارند اثبات شده است. بر پایه ی این موشکافی ها، یک گرایش به سرخ همانند انتقال دوپلر برای پرتویی که اندازه گیری شده و با یک سرعت ذاتی تشریح شده باشد است. هنگامی که تندی های ذاتی متقارن با فاصله ها برای اشیا مطرح شدند یک رابطه ی خطی شناخته شده با عنوان قانون هابل دیده می شود:

$$V = H_0 d$$

که در آن

V سرعت ذاتی کهکشان یا یک شی دور دیگر است،

d فاصله تا شی و

H_0 ثابت هابل است که توسط ردیاب WMAP برابر با $71 \pm 4 \text{ km/s/Mpc}$ اندازه گیری شده است.

مشاهده ی قانون هابل دو تفسیر ممکن دارد. یکی از آن دو می گوید که ما در کانون گسترش کهکشان ها هستیم، موقعیتی که ناهماهنگ با اصل کوپرنیک پذیرفته شده و مسلم است. تفسیر دوم می گوید که جهان در همه جا یکنواخت گونه و به عنوان یک مشخصه ی یگانه از فضا زمان گسترش می یابد. این گونه ی انبساط جهانی به خوبی در زمینه ی نسبیت عمومی با زبان ریاضی گسترش یافت پیش از آن که هابل مشاهده ها و موشکافی هایش را

انجام دهد و آن چه ماند بنیاد نظریه ی مهبانگ بود که از سوی Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker گسترش یافت.

تابش ریز موج های زمینه ی کیهانی

نظریه ی مهبانگ وجود تابش ریز موج های زمینه ی کیهانی (CMB) را که آمیخته ای از فوتون های گسیل شده در طول baryogenesis است پیش بینی کرد. از آن جایی که جهان آغازین در تعادل گرمایی بود، دمای تابش و پلازما هم اندازه بودند تا این که پلازما آمیخته شد. پیش از شکل گیری اتم ها، تابش در یک فرایند که پراکندگی Compton نام دارد، به طور پیوسته جذب و گسیل می شد: جهان آغازین برای آشکار کردن بسیار تیره بوده است. به هر روی، خنک شدن به دلیل گسترش جهان به دما اجازه داد تا زیر ۳۰۰۰ کلوین کاهش یابد، دمایی که در آن الکترون ها و نوکلئ ها در هم آمیختند تا اتم ها را شکل دهند و پلاسمای بسیار کهن به یک گاز خنثی دگرش یافت. این همان است که تجزیه ی فوتون نامیده می شود. یک جهان با تنها اتم های خنثی به تابش اجازه ی سفری بی مزاحمت و گسترده می دهد.

از آن جا که جهان آغازین در تعادل گرمایی بود، تابش از این زمان گستره ی تابش یک جسم سیاه را داشت و تا به امروز آزادانه در طول فضا در جنبش است و نیز در حال گرایش به سرخ به دلیل انبساط هابل. این عامل، دمای بالای گستره ی تابش جسم سیاه را کم می کند. این تابش باید در هر نقطه از جهان و از هر سو دیده شدنی باشد.

در سال ۱۹۶۴ میلادی، Arno Penzias و Robert Wilson هنگام انجام شماری مشاهده های خطا یاب با به کار گیری یک گیرنده ی نوین ریز موج ها (که برای آزمایشگاه Bell بود) تابش زمینه ی کیهانی را یافتند. یافته های آن ها تاییدی استوار برای پیشگویی های CMB به ارمغان آورد. تابش دارای ویژگی های یکسان در هر سو (همسانگرد) و سازگار با گستره ی تابش جسم سیاه ۳ کلوین شناخته شد. بنابراین، کفه ی ترازو به سود مهبانگ سنگین تر شد و نظریه ی مهبانگ استوارتر گردید. Penzias و Wilson جایزه ی نوبل را برای یافته شان به دست آوردند.

ناسا، در سال ۱۹۸۹ میلادی، ماهواره ی کاوشگر زمینه ی کیهانی (COBE) را پرتاب کرد و نخستین یافته های آن در سال ۱۹۹۰ میلادی منتشر شد که سازگار با پیشگویی های مهبانگ، با توجه به CMB، بودند. COBE یک دمای پسماند ۲.۷۲۶ کلوین را یافت و حکم به همسانگرد بودن CMB در حدود یک بخش در 10^5 داد. در دهه ی ۹۰ میلادی، با کمک شمار بسیاری از آزمایش های انجام شده در زمین، ناهمسانگردی های CMB بیش از پیش بررسی شد و با کمک اندازه گیری مقدار زاویه ای نوعی ناهمسانگردی ها، جهان از نظر هندسی به گونه ای کمابیش تخت نشان داده شد.

در آغاز سال ۲۰۰۳ میلادی، دست آورد های ماهواره ی ریز موج ویلکینسون (WMAP) منتشر شد و آنچه در آن زمان بیشترین مقدارهای دقیق برای برخی از مشخصه های انتظام گیتی بودند به انجام رسید. همچنین، این ماهواره چندین مدل تورم کیهانی معین را رد کرد، ولی در کل دست آورد ها سازگار با نظریه ی تورم بودند.

فراوانی عنصرهای نخستین

با به کار گیری نظریه ی مهبانگ، امکان محاسبه ی فراوانی هلیوم ۴، هلیوم ۳، دوتریوم و لیتیوم ۷ در جهان نسبت به مقدار هیدروژن معمولی وجود دارد. همه ی فراوانی ها به یک مشخصه تکی بستگی دارند: نسبت فوتون ها به باریون ها (ذرات سنگین). نسبت های پیش بینی شده، بر حسب جرم و نه تعداد، از این قرارند:

آ. 0.25 برای ${}^4\text{He}$ نسبت به H. ب. 10^{-3} برای ${}^2\text{H}$ به H. پ. 10^{-4} برای ${}^3\text{He}$ به H. ت. 10^{-9} برای ${}^7\text{Li}$ به H

فراوانی های اندازه گیری شده، همگی با آن هایی که از یک مقدار تکی از نسبت باریون به فوتون پیش بینی شدند سازگارند. به نسبت، این سازش برای ${}^7\text{Li}$ و ${}^4\text{He}$ یعنی عنصرهایی که برای عدم قطعیت های روش مند کم تر دانسته شده اند، ناچیز است. این که نظریه ی مهبانگ تنها توضیح شناخته شده برای فراوانی های نسبی عنصرهای سبک است، گواهی استوار بر درستی این نظریه است. به راستی، هیچ گواه روشنی بیرون از نظریه ی مهبانگ وجود ندارد که، برای نمونه، جهان نورسته و جوان (یعنی پیش از شکل گیری ستاره ها، به گونه ای که با کمک مطالعه ی ماده ی به طور ذاتی تهی از فرآورده های nucleosynthesis تعیین شده است) باید هلیوم بیشتری از دوتریوم یا دوتریوم بیشتری از ${}^3\text{He}$ ، و در نسبت های ثابت داشته باشد.

پراکندگی و فرضیه ی تکامل کهکشانی

مشاهده های موشکافانه از ریخت شناسی و پراکندگی کهکشان ها و اختروش ها (Quasars) گواهی استوار برای مهبانگ به ارمغان آورده اند. آمیزه ای از مشاهده ها و نظریه پیشنهاد می کنند که در آغاز اختروش ها و کهکشان ها در حدود یک میلیارد سال پس از مهبانگ شکل گرفتند و پس از آن زمان ساختارهای بزرگ تر همچون خوشه ها و ابر خوشه های کهکشانی شکل می - گیرند. گروه های ستارگان پیر و بالیده می شوند، به گونه ای که کهکشان های دور (آن هایی که مشاهده ی آن ها زمانی که در جهان آغازین بودند انجام شده است) ناهمسان با کهکشان های نزدیک هستند (که در حالتی متاخرتر دیده می شوند). افزون بر این، کهکشان هایی که به نسبت به تازگی شکل گرفتند به طور برجسته و آشکار متفاوت از کهکشان هایی هستند که در همان فاصله ها ولی کمی پس از مهبانگ شکل گرفتند. این مشاهده ها شناسه هایی استوار در برابر مدل "حالت پایا" هستند. مشاهده های پراکندگی (توزیع) شکل گیری ستاره ها، کهکشان ها، اختروش ها و نیز ساختارهای بزرگ تر با همانندسازی های شکل گیری ساختار مهبانگ در جهان سازگارند و به بالانیدن بخش های جزئی تر این نظریه کمک می کنند.

ویژگی ها، پی آمدها و دشواری ها

چندین دشواری در سرتاسر تاریخ نظریه ی مهبانگ رخ می نمایند. امروزه، برخی از آن ها نکته های جالب تاریخی هستند و در پی بهتر و کامل تر شدن نظریه یا به عنوان پی آمدی از مشاهده های بهتر برطرف شده اند. پی آمدهای دیگری، مانند "هاله ی نورانی cuspy" و مساله ی "کهکشان کوتوله ی ماده ی تاریک سرد" هنگامی که در پالایش نظریه از آنان نامی برده می شود خطری کشنده به شمار نمی آیند.

شمار کمی از هواداران کیهان شناسی های غیر استاندارد هستند که در این که در اصل مهبانگی بوده است یا نه گمان مند هستند. آنان می گویند که چاره سازی های مساله های استاندارد در نظریه ی مهبانگ گرفتار بهسازی ها و پیوست های موردی و نه دارای کاربرد عمومی می شوند. بیشتر خرده گیری ها از بخش هایی از کیهان شناسی استاندارد که دربرگیرنده ی "ماده ی تاریک"، "انرژی تاریک" و "تورم کیهانی" هستند انجام می شود. به هر روی، تا هنگامی که توضیح ها برای این ترکیب ها در مرزهای پژوهش در فیزیک هستند همگی با کمک مشاهده های nucleosynthesis مهبانگ، ریز موج زمینه ی کیهانی، ساختار مقیاس بزرگ و ابرنواخترهای گونه ی Ia (اول a) بررسی می شوند.

نشانه های گرانشی این ترکیب ها به گونه ی نظری و مشاهداتی دانسته شده اند ولی هنوز با موفقیت با مدل استاندارد فیزیک ذرات نیامیخته اند. گرچه برخی از نمودهای نظریه به طور ناکافی به کمک فیزیک بنیادی شرح داده شدند، کامیاب همی اخترشناسان و فیزیکدانان می پذیرند که سازشی نزدیک میان نظریه ی مهبانگ و مشاهده ها، به گونه ای ناگسستی بخش های بنیادین نظریه را استوار می سازند. در زیر فهرست کوتاهی از چیستان ها و مساله های مهبانگ آورده شده است:

مساله ی کران (خط افق)

مساله ی خط افق پی آمدی است از این قضیه که "هیچ چیز و داده ای نمی تواند تندتر از نور پیش برود"، و از این رو، دو ناحیه از فضا که دوری آن ها بزرگ تر است از "حاصل ضرب تندی نور و عمر جهان" نمی توانند در تماس علی (علتی) باشند. تکروندی ریز موج زمینه ی کیهانی (CMB) مشاهده شده در این مورد گیج کننده است، زیرا اندازه ی کران (افق) در این زمان برابر با حدود ۲ درجه در آسمان است. اگر جهان همان تاریخ انبساط پس از مبدا تاریخ پلانک را داشته باشد، هیچ سازوکاری نیست که موجب شود این ناحیه ها دمای یکسانی داشته باشند. تجزیه و تحلیلی با کمک نظریه ی تورم برای این ناسازگاری ظاهری پیشنهاد شده است: یک میدان انرژی نرده ای (اسکالر) همسانگرد و همگن در 10^{-35} ثانیه پس از مبدا تاریخ پلانک بر جهان چیره می شود. در هنگام تورم، جهان دستخوش انبساط نمایی می شود و ناحیه ها، برای آن که در افق های دورتری از هم باشند، در تماس علی گسترش می یابند. اصل عدم قطعیت هایزنبرگ پیش گویی می کند که در هنگام فاز تورم، افت و خیز های دمایی

که خواستار بزرگ کردن مقیاس کیهانی بوده اند می توانسته اند وجود داشته باشند. این افت و خیزها دانه های همگی ساختار کنونی جهان را می پاشند. پس از تورم، جهان با توجه به قانون هابل گسترش می یابد، و ناحیه هایی که بیرون از تماس علی بودند به درون خط افق باز می گردند. این، تکرندی مشاهده شده ی CMB را توضیح می دهد. تورم پیش گویی می کند که آن افت و خیزهای بسیار کهن کمابیش در مقیاس ثابت و گاوسی هستند که به طور دقیق با کمک اندازه گیری های CMB تایید شده اند.

مساله ی تختی (همواری)

مساله ی تختی یک دشواری مشاهداتی است و پی آمدی است از بررسی دانش هندسه همراه با معیارهای سنجش Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker. روی هم رفته، جهان می تواند سه گونه ی متفاوت از هندسه را داشته باشد:

۱. هندسه ی هذلولوی (هیپربولیک) ۲. هندسه ی اقلیدسی ۳. هندسه ی بیضوی

هندسه به کمک چگالی انرژی کل جهان تعیین شده است (هم چنانکه به کمک تانسور فشار-انرژی اندازه گیری شد): هذلولوی پی آمدی است از چگالی کم تر از چگالی بحرانی، بیضوی پی آمدی است از چگالی بزرگ تر از چگالی بحرانی و اقلیدسی پی آمدی است از چگالی دقیق چگالی بحرانی. جهان نیاز دارد به این که چگالیش در گام های آغازین آفرینش یک بخش از 10^5 چگالی بحرانی باشد. هر انحراف بزرگ تری مایه ی یک مرگ گرمایی یا یک خرد شدن شگرف می شد و جهانی همچون جهان امروز هستی نمی یافت.

یک تجزیه و تحلیل ممکن برای این دشواری، این بار هم از سوی نظریه ی تورم، پیشنهاد شده است. در هنگام دوره ی تورم، فضا زمان به چنان اندازه ای گسترش یافت که هر خمیدگی بازمانده ای که وابسته به آن بوده با درجه ی دقت بالایی صاف شده است. از این رو، این که تورم جهان را به سوی تختی فضایی بیشتر پیش می برد، باور بیشتر فیزیکدانان شده است.

تک قطبی های مغناطیسی

مساله ی تک قطبی مغناطیسی در سال های پایانی دهه ی ۱۹۷۰ میلادی پیش کشیده شد. نظریه های یگانگی کامل، کاستی های نقطه ای را در فضا پیش گویی کردند که به عنوان تک قطبی های مغناطیسی با چگالی بسیار بیشتر از آنچه با مشاهده ها سازگار بود باز می نمود. روشن است که جستجوها هرگز به یافتن تک قطبی ها نینجامید. این دشواری نیز به کمک تورم کیهانی از میان برداشته می شود؛ تورم همه ی کاستی های نقطه ای را به همان روشی که هندسه را به تختی رهنمون شد حذف می کند.

بی تقارنی باریونی

هنوز آشکار نشده است که چرا جهان ماده ی بیشتری نسبت به پادماده دارد. روی هم رفته، این گونه پنداشته می شود که آن هنگام که جهان بسیار داغ و جوان بود، از نظر آماری بیشترین تعادل را داشت و نیز شمار باریون ها و پادباریون ها هم اندازه بود. به هر روی، مشاهده ها پیشنهاد می کنند که جهان، همچنین بخش های دورتر آن،

اغلب به طور کامل از ماده ساخته شده اند. یک فرایند ناشناخته با نام *baryogenesis* مایه ی بی تقارنی شد. برای رخ دادن *baryogenesis*، شرایط Sakharov، که از سوی Andrei Sakharov پیش کشیده شد باید درست باشند. آن ها نیاز دارند که شمار باریون ها کنسرو شده نباشد، که تقارن C و تقارن CP شکسته شود و آن که جهان از تعادل دمایی (thermodynamic) دور شود. همه ی این شرایط در مدل استاندارد رخ می دهند، ولی پایان کار به اندازه ی کافی استوار نیست که بی تقارنی کنونی باریون را توضیح دهد. آزمایش ها در CERN در نزدیکی Geneva در سوئیس برای به دام انداختن پاد هیدروژن کافی برای مقایسه ی گستره ی تابش (طیف) آن با گستره ی تابش هیدروژن انجام می شود. هر تفاوتی گواهی از یک خطای تقارن CPT و بنابراین یک خطای Lorentz است.

عمر خوشه ی کروی

در میانه ی دهه ی ۱۹۹۰ میلادی، مشاهده های خوشه های کروی هماهنگ با مهبانگ ظاهر نشدند. شبیه سازی های رایانه ای که مشاهده های گروه های ستاره ای خوشه های کروی را مطابقت می دادند پیشنهاد کردند که آن ها در حدود ۱۵ میلیارد سال عمر دارند که با ۱۳.۷ میلیارد سال عمر جهان سازگار بود. این پی آمد به طور کلی در سال های پایانی دهه ی ۱۹۹۰ میلادی، هنگامی که شبیه سازی های رایانه ای نوین تر، که تاثیر جرم های گم شده با توجه به بارهای ستاره ای را در بر داشتند و یک عمر بسیار جوان تر را برای خوشه های کروی نشان دادند، حل شد. هنوز هم برخی پرسش ها درباره ی درستی عمر خوشه های کروی مانده است، ولی این روشن است که آن ها از کهن سال ترین اشیای جهان هستند.

ماده ی تاریک

در هنگام دهه های ۷۰ و ۸۰ میلادی، مشاهده های گوناگون (به طور برجسته خمیدگی چرخش کهکشانی) نشان دادند که ماده ی مرئی در جهان به اندازه ی بسنده برای ارائه ی چرایی شدت ظاهری نیروهای گرانشی درونی و میان کهکشانی وجود ندارد. این نشان می دهد که بالای ۹۰ درصد از ماده در جهان غیر عادی (یا ماده ی غیر باریونی) است و نیز ترجیحا ماده ی تاریک است. افزون بر این، با این پندار که بیشتر جهان از ماده ی معمولی بوده است، پیشگویی ها به شدت با مشاهده ها ناهماهنگ می شد. به ویژه جهان آن چنان صاف و نیز آن چنان تهی از دوتریوم است که نمی تواند بدون ماده ی تاریک پنداشته شود. اگر چه ماده ی تاریک در آغاز بسیار ستیز برانگیز بود ولی هم اکنون به طور گسترده به عنوان بخشی از کیهان شناسی استاندارد، با توجه به مشاهده های ناهمسانگردی در CMB، پراکندگی های سرعت خوشه ی کهکشانی، توزیع های ساختار بزرگ مقیاس، آموخته های لیزینگ گرانشی، و اندازه گیری های اشعه ی X از خوشه های کهکشانی پذیرفته شده است. ماده ی تاریک تنها با جا پای گرانشیش یافته شد؛ هیچ ذره ای که شاید آن را دیده شدنی کند وجود ندارد. به هر روی، نامزدهای فیزیک ذرات بسیاری برای ماده ی تاریک هستند و پروژه های گوناگونی برای یافتن آن ها در دست است.

انرژی تاریک

در دهه ی ۹۰ میلادی، اندازه گیری های موشکافانه ی چگالی جرم جهان، مقداری را که ۳۰ درصد چگالی بحرانی بود آشکار کرد. از آن جایی که جهان از نظر فضایی بسیار تخت است، با توجه به اندازه گیری های ریز موج های زمینه ی کیهانی، در حدود ۷۰ درصد از چگالی انرژی جهان بی وجود هیچ گواهی جدا شده است. این راز، هم اکنون برای متصل بودن با یک راز دیگر ظاهر می شود: اندازه گیری های مستقل ابرنواختران گونه ی Ia چنین آشکار کرده اند که گسترش جهان دستخوش یک شتاب غیرخطی به جای پیروی اکید از قانون هابل است. نسبت عمومی برای توضیح این شتاب به مقدار بسیاری از ترکیبی از یک درآیه ی انرژی با فشار منفی بسیار بزرگ نیاز دارد. چنین به نظر می رسد که این انرژی تاریک ۷۰ درصد گم شده را بازیابد. سرشت آن یکی از بزرگ ترین رازهای مهبانگ است. نامزدهای ممکن دربردارنده ی یک ثابت و اصل کیهان شناختی نرده ای (اسکالر) هستند. مشاهده ها به بازساخت آنچه در حال پیشرفت است کمک می کنند.

جهان آینده با توجه به نظریه ی مهبانگ

پیش از مشاهده های انرژی تاریک، کیهان شناسان دو نمایش نامه برای آینده ی جهان مطرح می کردند. اگر چگالی جرم جهان بالای چگالی بحرانی باشد آن گاه بزرگی جهان به یک اندازه ی بیشینه می رسد و سپس آغاز به کوچک شدن می کند. بنابراین دوباره جهان چگال تر و داغ تر می شود. پایانی همانند آغاز ولی وارون آن! دیگر آن که چگالی جهان برابر با یا کم تر از چگالی بحرانی باشد، انبساط کند می شود ولی هرگز از ادامه باز نمی ایستد. هنگامی که جهان به سوی چگالی کم تر پیش می رود ساخته شدن ستاره ها از ادامه باز می ایستد. دمای میانگین جهان به طور مجانبی به صفر مطلق نزدیک می شود. سیاه چاله ها تبدیل به بخار می شوند. آتروپی جهان تا نقطه ای که هیچ شکل سازمان یافته ای از انرژی نمی تواند از آن بیرون رود افزایش می یابد، نمایش نامه ای که "مرگ گرمایی" نام دارد. افزون بر این، اگر واپاشی پروتون وجود داشته باشد آنگاه هیدروژن، فرم غالب ماده ی باریونی در جهان امروز، ناپدید می شود و تنها تابش از خود بر جای می گذارد.

مشاهده های نوین انبساط شتابدار دلالت بر آن دارد که جهان پیدای کنونی هر چه بیشتر و بیشتر به آن سوی افق رویداد ما می -گذرد و بنابراین به بیرون از دسترسی ما می رود. پی آمد شرطی هنوز ناشناخته است. مدل Λ CDM (لاندا سی دی ام) جهان، انرژی تاریک را به فرم یک ثابت کیهان شناختی دارد. این نظریه پیشنهاد می کند که تنها، سامانه های محدود گرانشی همچون کهکشان ها با هم می مانند و آن ها نیز شاید در رابطه با مرگ گرمایی، هنگامی که جهان سرد و منبسط می شود، باشند. تفسیرهای دیگر انرژی تاریک - که نظریه های انرژی خیالی (Phantom energy) نامیده می شوند - پیشنهاد می کنند که خوشه های کهکشانی و سرانجام خود کهکشان ها با انبساطی فزاینده و همیشگی که Big Rip (شکافت بزرگ - گرداب بزرگ) نامیده می شود از هم جدا می شوند.

فیزیک نظری فراتر از مهبانگ

تا هنگامی که مدل مهبانگ در کیهان شناسی برقرار است، احتمال پالوده شدن آن در آینده هست. ما دانش کمی درباره ی جهان آغازین، در هنگام رخداد تورم، داریم. همچنین شاید بخش هایی از جهان در فرا سوی آن چه دیده می شود وجود داشته باشند. در مورد تورم چنین نیاز است: "انبساط نمایی، ناحیه هایی بزرگ از فضا را فراتر از افق دید ما جای داده است." آنگاه که ما فیزیک را در مقیاس های انرژی بالا بفهمیم، شاید این را که چه چیزی رخ داده است به دست آوریم. اندیشیدن درباره ی این، اغلب در بردارنده ی نظریه هایی از گرانش کوانتومی است.

برخی از پیشنهادها چنین اند:

- تورم نا به سامان

- مدل های کیهان شناسی brane، در بردارنده ی مدل ekpyrotic که در آن مهبانگ پی آمدی از یک برخورد میان brane هاست.

- یک جهان نوسانی که در آن جهان آغازین داغ است، وضعیت چگال از در هم فرو رفتن یک جهان همانند جهان ما به دست آمده است. جهان می تواند تا بی نهایت بار مهبانگ ها و فرو ریزش های بزرگ (Big Crunches) را تکرار کند. گسترش چرخه ای مدل ekpyrotic ویرایشی نوین از چنین نمایش نامه ایست. دشواری برجسته و مهم این است که در ظاهر، آنتروپی به هر چرخه ی نو منتقل می شود و شرایط مرگ گرمایی در گذشته ی دور نتیجه می شود!

- مدل های دربرگیرنده ی شرط کرانی Hartle-Hawking که در همه ی فضا زمان کراندار هستند.

برخی از این نمایش نامه ها از نظر کیفی با یکدیگر سازگارند و نیز هر یک از آن ها دارای تفسیرهای نیازموده ای هستند.

تفسیرهای دینی و فلسفی

ما تفسیرهای فرادانشی بسیاری برای نظریه ی مهبانگ داریم. برخی از این نظرها برای روشن ساختن چرایی خود مهبانگ به کار می روند (نخستین چرایی)، هر چند که شاید دانش نتواند چرایی نخست را نشان دهد، از این رو آن ها با عنوان "افسانه ی نوین آفرینش" از سوی برخی فیلسوفان طبیعت گرانکوهش می شوند. برخی از مردم باور دارند که مهبانگ کانون توجه خود را بر پشتیبانی از دیدگاه های سنتی آفرینش نهاده است، چنانکه در تورات گفته شده است.

مهبانگ، به عنوان یک نظریه ی دانشی، بر پایه ی هیچ دینی نیست. همچنان که برخی از تفسیرهای دینی با

داستان مهبانگ جهان می ستیزند، بسیاری تفسیرهای دیگر چنین نمی کنند.

در زیر فهرستی از تفسیرهای گوناگون دینی بر مهبانگ آورده شده است:

- شماری از کلیساهای مسیحی، به ویژه کلیسای کاتولیک روم، مهبانگ را به عنوان یک توضیح ممکن از اصل جهان پذیرفته است، با تفسیر آن اجازه برای یک چرایی نخستین فلسفی داده می شود. پاپ Pius XII یک هوادار علاقه مند مهبانگ بود! حتی پیش از آن که این نظریه از نظر دانش به خوبی جا بیافتد.
- برخی از دانشجویان Kabbalah و deism و دیگر آیین های باور به خدایی که همانند آدمی نیست، بر سر نظریه ی مهبانگ توافق دارند، برای نمونه هموندی آن با نظریه ی "استغفار خدایی" (tzimtzum) است که توسط پژوهشگر یهودی Moses Maimonides توضیح داده شده است.
- برخی از پژوهشگران نوین مسلمان باور دارند که قرآن مهبانگ را به طور همراستا در حساب آفرینش آورده است. نمونه ای از آن چنین است: "آیا کسانی که کفر ورزیدند ندانستند، که آسمان ها و زمین هر دو به هم پیوسته بودند، و ما آن دو را از هم جدا ساختیم؟..." (سوره ی ۲۱، آیه ی ۳۰). همچنین گفتگو بر سر این است که قرآن یک جهان در حال گسترش را توضیح می دهد: "و آسمان را با نیروی خود برافراشتیم، و بی گمان، ما [آسمان] گستریم" (سوره ی ۵۱، آیه ی ۴۷). سخنان همراستا با فروریزش بزرگ کیهان و یک جهان نوسان کننده نیز در قرآن آمده است: "روزی که آسمان را همچون به هم پیچیدن صفحه ی نامه ها در می پیچیم همان گونه که نخستین بار آفرینش را آغاز کردیم دوباره آن را باز می گردانیم. وعده ایست بر عهده ی ما، که ما انجام دهنده ی آنیم" (سوره ی ۲۱، آیه ی ۱۰۴).
- شاخه های خداپرستانه ی اصلی آیین هندو، همانند Vaishnavism دربردارنده ی نظریه ای برای آفرینش همراه با همانندی هایی با مهبانگ هستند. افسانه ی هندو، برای نمونه در کتاب سوم از Bhagavata Purana (مقدمتا سوره های ۱۰ و ۲۶) چنین شرح می دهد: "یک وضعیت بسیار کهن به سوی بیرون منفجر می شود همچنان که ویشنوی بزرگ آن را به یک نظر بیند، تغییر شکل یافتن به یک وضعیت فعال از مجموع ماده ("Prakriti"). دیگر فرم های آیین هندو از یک جهان بی آغاز و پایان پشتیبانی می کنند.
- آیین بودا باور به جهانی که هیچ آفرینشی نداشته است دارد. به هر روی به نظر نمی رسد که مهبانگ ستیزی با وجود راه هایی برای درک و ارائه ی یک جهان همیشگی و نابود نشدن که در آیه های کتاب های آسمانی آمده است داشته باشد. گفتنی است که شماری از فیلسوفان معتکف و وابسته به توده ی مردم، به ویژه به وسیله ی مفهوم "جهان نوسان کننده"، به فریفتن پرداخته اند.